



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 197 17 127 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**H 05 H 1/46**  
H 01 J 37/32

②1 Aktenzeichen: 197 17 127.3  
②2 Anmeldetag: 23. 4. 97  
④3 Offenlegungstag: 29. 10. 98

DE 197 17 127 A 1

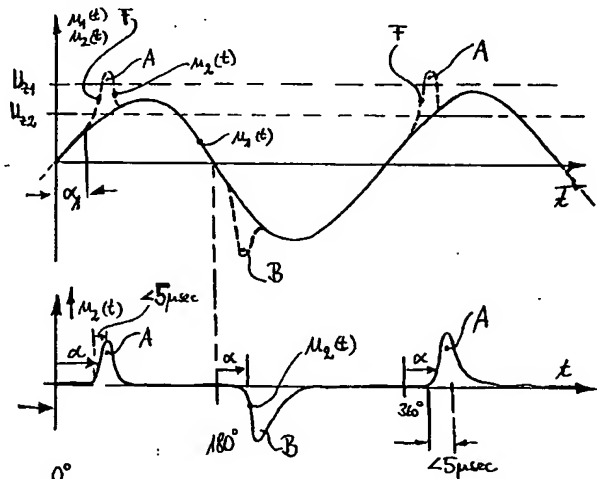
⑦1 Anmelder:  
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE  
  
⑦4 Vertreter:  
Leonhard und Kollegen, 80331 München

⑤1 Zusatz zu: 196 16 187.8  
  
⑦2 Erfinder:  
Neff, Willi Dr., Kelmis, BE; Pochner, Klaus, 52072  
Aachen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤4 Anregen elektrischer Entladungen mit Kurzzeit-Spannungspulsen

⑤7 Im technischen Gebiet der Anregung von Gasentladung, insbesondere der Zündung und des Betriebs von dielektrisch behinderten Entladungen wird es mit der Erfindung vorgeschlagen, Kurzzeit-Spannungspulse (A, B, A', B') einer niederfrequenten Grundschwingungs-Wechselspannung zu überlagern, um die in die Gasentladung eingebrachte Leistung zu erhöhen und die Verteilungsfunktion verlustarm auszugestalten. Die zeitliche Position des Kurzzeit-Spannungspulses als Leistungspuls zur Einspeisung von Energie in das Plasma kann mit einer Steuerung oder Regelung an den Betriebszustand der Gasentladung angepaßt werden.



DE 197 17 127 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft das technische Gebiet der Anregung elektrischer Entladungen, insbesondere das Zünden der elektrischen Entladungen, wie es in der 196 16 187.8 vom 23. April 1996 beschrieben ist. Die hier beschriebene Erfindung ist eine Verbesserung und/oder eine weitere Ausbildung der unter dem vorher angegebenen Aktenzeichen (noch nicht) durch ein Patent geschützten Erfindung und beansprucht ein Zusatzverhältnis.

Die Anregung elektrischer Entladungen in Gasen erfolgt nach DD 295 061 A5 oder P 41 12 161 C2 oder P 43 07 768 A1 mit hochfrequenter Wechselspannung. Für viele plasmachemische oder plasmaphysikalische Prozesse ist es erforderlich, bereits bei mäßiger mittlerer Leistung hohe Spitzenleistungen zu erreichen. Ein bekanntes Verfahren ist die Austastung niederfrequenter Pulsgruppen aus einer hochfrequenten Grundschwingung mittels zu regelmäßigen Zeitpunkten geschalteten Halbleiterelementen, das im folgenden getaktete Anregung genannt wird.

Plasmagestützte Prozesse kommen bei der Deposition von Schichtsystemen in der Halbleiterherstellung oder Werkstückveredelung, bei der Teilereinigung und bei plasmachemischen Umsetzungen in der Gasphase zum Einsatz. Besonders die Nachbehandlung von Abgasen aus Verbrennungsmotoren, mit dem Ziel Stickoxide oder Kohlenwasserstoffe zu vermindern, ist ein Anwendungsfall, wo beste energetische Wirkungsgrade erforderlich sind. Aber auch für die Oberflächenbehandlung ist eine Verminderung des Energieeinsatzes nötig; hier weniger aufgrund der elektrischen Anschlußleistung der das Plasma speisenden Generatoren, als vielmehr um die Wärmebelastung der Bauteile im tolerierbaren Bereich zu halten.

Zur Beschichtung kommen vor allem Niederdruckplasmen vom Typ der Glimmentladung zum Einsatz. Hier werden im Druckbereich von 1 Pa bis 100 Pa diffuse Gasentladungen von 50 bis 1000 mm Ausdehnung erzeugt. Bei Zufuhr reaktiver Gase werden diese im Entladungsbereich zersetzt und an Oberflächen in der Umgebung, die zu Werkstücken aber auch zu Rezipientenwänden gehören können, findet die Schichtdeposition statt.

Abtragen durch Plasmen wird vorwiegend mit edelgas-, sauerstoff- oder halogenhaltigen Gasen von 0.01 bis 1 Pa Druck durchgeführt. Bei Verwendung von Edelgasen findet ein Herausschlagen von Atomen aus der zu behandelnden Oberfläche durch Einschlag schneller positiver Ionen statt. Reaktivgase können diesen Prozeß verstärken oder die Selektivität erhöhen, indem zusätzlich chemische Energie zur Verfügung gestellt wird.

Bogenentladungen in einem weiten Druckbereich von Niederdruck bis hin zum Atmosphärendruck eignen sich zur Erzeugung lokalisierter Plasmen von wenigen Millimetern Ausdehnung. Durch diese heißen Bereiche kann entweder für die Umsetzung von Gasen das zu behandelnde Gas geströmt werden oder es wird mittels eines Arbeitsgasstrahls die Energie aus dem Bogen zu der Behandlungszone transportiert.

Im atmosphärischen Druckbereich kommen vor allem Barrierenentladungen oder Koronaentladungen zum Einsatz, die es erlauben, trotz der hohen Stoßfrequenz zwischen Elektronen und schweren Teilchen eine nichtthermische Energieverteilung einzustellen. Im Fall der Barrierenentladung wird durch ein Selbstabschalten der Entladung die Energie nur während eines kurzen Zeitfensters von 5 bis 50 ns eingebracht, während die Koronaentladung mittels spitzer oder kantiger Elektroden ein stark inhomogenes elektrisches Feld erzeugt. In beiden Fällen wird den Elektronen nur kurz Energie zugeführt, so daß nur wenige Stöße statt-

finden können.

Plasmachemische und plasmaphysikalische Prozesse werden durch schnelle, im Plasma gebildete, Teilchen ausgelöst. Dies sind negativ geladene Elektronen und positiv geladene Ionen, die durch Ionisierung im elektrischen Feld gebildet und zwischen den Stößen mit anderen Gasteilchen beschleunigt werden. Dadurch ergeben sich jeweils besondere Energieverteilungsfunktionen, denen gemeinsam ist, daß relativ viele Teilchen eine niedrige kinetische Energie besitzen und nur wenige Teilchen oberhalb der Mindestenergie vorliegen, die für den erwünschten Prozeß erforderlich ist. Damit läuft der Prozeß vergleichsweise langsam ab; die niederenergetischen Teilchen tragen jedoch in erheblichem Maße zum elektrischen Leistungsbedarf und zu den thermischen Verlusten in der Entladung bei.

Eine Verminderung der eingebrachten Leistung verlangsamt den Plasmaprozeß noch weiter, während eine Leistungserhöhung zu einer Verstärkung von unerwünschten Aufheizeffekten führt. Es ist bekannt, durch Austastung von Pulsgruppen aus der hochfrequenten Anregungsspannung die im zeitlichen Mittel eingebrachte Leistung zu vermindern, ohne die momentane Leistung, die für die Energieverteilung ausschlaggebend ist, zu verändern. Dabei wird ausgenutzt, daß die Aufheizung von Gas und Oberflächen ein vergleichsweise langsam ablaufender Vorgang ist, während die Einstellung der Energieverteilung auf deutlich kürzerer Zeitskala abläuft. Werden jedoch Plasmaprozesse mit schnellen Flächenraten oder hohen Gasdurchsätzen erwartet, so ist es erforderlich, die durch die Pausen in der Anregung entstandene Verminderung der mittleren Leistung durch eine Erhöhung der momentanen Leistung zu kompensieren. Die damit verbundene Spannungserhöhung erreicht jedoch Grenzen der Generatoren und Übertragungstechnik oder führt zur Ausbildung von Instabilitäten in der Entladung.

Aufgabe der Erfindung ist es, die Anregung einer Gasentladung als starke kapazitive Last, insbesondere das Zünden dieser Last verlustarm auszugestalten.

Wird der Anregungsspannung ein kurzzeitiger Spannungspuls als Leistungspuls überlagert, so kann die eingebrachte Leistung erhöht und die Verteilungsfunktion zu höheren Teilchenenergien hin verschoben werden (Anspruch 1, Anspruch 20).

Vor der Zündung einer Gasentladung stellen die Elektroden eines Plasmasystems vornehmlich eine kapazitive Last dar, die – induktiv über einen Transformator mit einem Generator gekoppelt – als Schwingkreis mit hoher Güte, d. h. mit Vernachlässigbaren elektrischen Verlusten, betrieben werden kann. Die elektrische Spannung zwischen den Elektroden kann dabei erhebliche Werte erreichen, wobei bis zu Amplituden knapp unter der Zündspannung kein nennenswerter Energieverbrauch stattfindet. Bei einer weiteren Spannungserhöhung zündet die Gasentladung und nimmt etwas Leistung aus dem Schwingkreis auf, bis die anliegende Spannung wieder unter die Löschspannung, die in der Regel niedriger als die Zündspannung ist, abfällt.

Um eine Zündung der Gasentladung im ganzen Volumen zu erreichen, muß eine erhebliche Leistung zugeführt werden, indem die Spannungsamplitude deutlich über die Zündspannung erhöht wird. Bei sinusförmigen Spannungen heißt dies, daß während eines signifikanten Anteils der Periodendauer die momentane Spannung über der Zündspannung liegt und sich im Elektrodensystem ein gezündetes Plasma befindet. Dies verändert die Kapazität der Elektroden und damit die Resonanzfrequenz des Schwingkreises; aufgrund der Fehlanpassung kommt es zu elektrischen Verlusten, die sich zur im Plasma umgesetzten Leistung addieren und den Wirkungsgrad der elektrischen Anregung bestimmen.

Wichtige Parameter für die Energieverteilung in Gasentladungen sind die im Gas herrschende elektrische Feldstärke und die Teilchendichte. Die Gasdichte ist jedoch durch Druck und Temperatur bestimmt und wird meist durch den Anwendungsfall diktiert. Eine Erhöhung der mittleren kinetischen Energie ist also nur durch Erhöhung der Feldstärke möglich. Die Feldstärke zum Zeitpunkt der Zündung ist jedoch ihrerseits durch die Gasart vorgegeben. Da ein zufälliges Vorhandensein freier Ladungsträger für die Initiierung der Ionisierung erforderlich ist, ist die Zündung einer Gasentladung ein statistischer Prozeß, mit einer gewissen zeitlichen Schwankung. Vom Überschreiten der theoretischen Zündfeldstärke an bleibt also ein kurzer zufallsbestimmter Zeitraum, bis tatsächlich die Zündung erfolgt. Die Energieverteilung wird jedoch durch die tatsächlich herrschende Feldstärke bestimmt, so daß eine schnelle Erhöhung der angelegten Spannung höhere mittlere Teilchenenergien zur Folge hat (Anspruch 3).

Verfahren des Standes der Technik, die mit extrem hohen Anregungsfrequenzen (vgl. z. B. die DD 295 061, dort Spalte 1, letzte drei Absätze) die erforderlichen kurzen Anstiegszeiten der Spannung realisieren, sind technisch aufwendig und mit nicht ausreichendem elektrischen Wirkungsgrad behaftet. Im Sinne der vorliegenden Erfindung wird dagegen mit niedriger Grundfrequenz und folglich langsamem Spannungsanstieg das System bis knapp an die Zündgrenze gebracht. Dies ist mit geringem Schaltungsaufwand und hohen elektrischen Wirkungsgraden möglich. Kurz vor dem Spannungsmaximum der Grundfrequenz wird dann ein schnell ansteigender Spannungspuls überlagert, der die Gasentladung zum Zünden bringt (Anspruch 4, 7). Die dabei auftretenden elektrischen Verluste tragen aufgrund der kurzen Dauer kaum zu einer Abnahme des Wirkungsgrads bei.

Wird der kurze Spannungspuls bereits in der ansteigenden Flanke der Grundschwingung überlagert (Anspruch 8), kann sich der steilere Anstieg schon bei niedrigerer momentaner Anregungsspannung auswirken.

Eine Weiterbildung der Erfindung stellt die Überlagerung einer steileren (schnellen) bipolaren Pulsspannung zum Zeitpunkt des Nulldurchgangs der Grundschwingung dar (Anspruch 13, Anspruch 14). Letzteres kann bei Systemen mit dielektrischen Elektroden und kapazitiver Anregung vorteilhaft sein, um bereits bei der, aufgrund von Oberflächenladungen verführten, Rückzündung einen steilen Spannungsanstieg anzubieten. Diese Rückzündung wird auch von einer – einem Trapez angenäherten – Spannungsform weitgehend verhindert (Anspruch 17, 18).

Die einzelnen Kurzzeit-Spannungspulse werden von einer Steuerung so auf die erste Wechselspannung getaktet (überlagert), daß der Zündwinkel  $\alpha$  (alpha) zum jeweiligen Systemzustand der Gasentladungsstrecke paßt (Anspruch 19). Bei längerem Betrieb wird  $\alpha$  (alpha) reduziert (Anspruch 11), wobei eine Systemführung die steile Flanke des Spannungspulses jeweils gerade vor der Zündschwelle überlagert (taktet), welche Schwelle sich bei Betrieb nur mit der ersten Wechselspannung bei sinkender Zündspannung  $U_z$  des Plasmas ergeben hätte. Frühzündungen, veranlaßt durch die erste Wechselspannung (noch ohne Spannungspuls) können detektiert werden und zum steuerungstechnischen Vorverlagern der Vorderflanke (leading edge) des Spannungspulses führen.

Werden mehrere Spannungspulse als einzelne Spannungspulse auf die erste Wechselspannung getaktet (Anspruch 14, 15), so entsteht quasi ein – aus mehreren Halbwellen bestehender – Wellenzug, zu dem sie zusammenwachsen.

Ausführungsbeispiele erläutern und ergänzen die Erfin-

dung. Die Funktionsweise wird anhand einer Barrierenentladung bei Atmosphärendruck (als Beispiel einer Gasentladung) erläutert.

Fig. 1 zeigt dazu mit durchgezogener Linie den zeitlichen Spannungsverlauf  $u_1(t)$  einer Wechselspannung mit niederfrequenter Grundschiwingung, die für sich alleine genommen die Entladung nicht zu zünden vermag. Ein zeitlich kurzer Spannungspuls A, B mit steiler Anstiegsflanke F ist der positiven und der negativen Halbwelle überlagert, zum Zünden der Entladung.

Fig. 2 ist das Beispiel der Fig. 1 mit um  $\alpha_1$  verschobenem Zünd-Spannungspuls A'.

Fig. 3 veranschaulicht zeitlich kurze Pulse A, B einer Anstiegszeit der Flanke F von nicht mehr als wenigen Mikrosekunden, die in Fig. 1 verwendet werden, zusätzlich zu der dortigen Grundschiwingung  $u_1(t)$ .

Fig. 4 veranschaulicht die Überlagerung zweier Frequenzen zum Erhalt einer weitgehend rechteckförmigen Gesamtspannung mit kurzer Anstiegszeit, entsprechend der Wirkung des Spannungspulses im Nullbereich von  $u_1(t)$ .

Fig. 5 ist ein der Fig. 4 ähnliches Beispiel mit noch steilerem Anstieg um den Nullbereich von  $u_1(t)$ .

Fig. 6a, Fig. 6b, Fig. 6c sind Spannungsüberlagerungen von Bipolar-Spannungspulsen im Nullpunktsbereich der ersten Wechselspannung  $u_1(t)$ .

Fig. 7a, Fig. 7b sind zwei Schaltungen zur Erzeugung von Kurzzeitspannungen auf einer Grundschwingung zur Speisung der Gasentladung G.

Die waagerechten gestrichelten Linien in Fig. 1 zeigen für die positive und negative Spannungshalbwelle jeweils die Zündspannungen  $\pm U_z$ , die mindestens überschritten werden müssen, um eine Gasentladung zu erzeugen. Werden nun mit einer Phasenverschiebung von  $\alpha$  (alpha) zusätzlich hochfrequente (zeitlich kurze) Spannungspulse A, B angelegt, so kann jeweils für kurze Zeit eine Entladung zünden. Aus Gründen der besseren Sichtbarkeit sind die gestrichelt eingezeichneten Spannungspulse länger als nötig (zeitlich gedehnt) dargestellt. Im Falle einer Barrierenentladung kommt hinzu, daß auch während der kurzen Zeitdauer  $\tau$  (tau) die Entladung nicht ständig brennt, sondern nur für jeweils wenige Nanosekunden kurz nach Überschreiten der Zündspannungsgrenze, also beispielsweise zum Zeitpunkt  $t_1$ . Ein günstiger Wert für die Frequenz der niederfrequenten Schwingung liegt zwischen 500 Hz und 5000 Hz, er ist erweiterbar auf Bereiche über 10 kHz bis zu 50 kHz; die kurzen Spannungspulse A, B sollten etwas länger als die Dauer des Stromflusses in der Barrierenentladung, d. h. so kurz wie schaltungstechnisch möglich, sein, aber zumindest einige Mikrosekunden nicht überschreiten.

Der zeitliche Verlauf der Spannungspulse A, B ist in Fig. 3 wiedergegeben. Die Spannungspulse können unipolar (Pulsfolge A-A-A...) oder bipolar (A-B-A-B...) angelegt werden. Darüber hinaus kann die in die Entladung eingebrachte Leistung durch Austastung einzelner der Pulse oder von ganzen Pulsgruppen geregelt werden. Hierbei macht man sich den Umstand zu Nutze, daß die während der ganzen Zeit weiter anliegende Spannung mit der niederfrequenten Grundschwingung  $u_1(t)$  alleine die Zündspannung  $U_z$  nicht überschreitet und damit verlustarm ist.

Eine andere Korrelation der sinusförmigen Grundspannung mit den Spannungspulsen ergibt sich in Fig. 2 durch Verstellen der Phasenverschiebung  $\alpha$  (alpha) auf  $\alpha_1$ . Der kurze Puls liegt nunmehr bereits in der ansteigenden Flanke der Spannung an. Hier kann es vorteilhaft sein, wie eben beschrieben die niederfrequente Spannung  $u_1(t)$  unter der Zündspannung  $U_z$  zu halten (relativ angedeutet durch Linie  $U_{z1}$ ), oder darüber (Linie  $U_{z2}$ ). Die letztere Möglichkeit erlaubt, den Puls A', wie dargestellt, gerade zum Zeitpunkt des

Überschreitens der Zündspannung  $U_{z2}$  anzulegen, wodurch während der kritischen Phase des statistischen Zeitdelays bis zur tatsächlichen Zündung die Feldstärke in der Entladung gesteigert werden kann.

In Fig. 4 und Fig. 5 sind die der Grundschiwingung  $u_1(t)$  überlagerten Kurzzeit-Spannungen  $u_2(t)$  ebenfalls sinusförmig und besitzen die drei- bzw. fünffache Frequenz. Dadurch lassen sich weitgehend rechteckähnliche Ausgangsspannungen erzeugen. Gegenüber den mit dem Stand der Technik erzeugten, optisch schöneren, Rechtecken haben die angenäherten Rechtecke gemäß Fig. 4 und 5 den Vorteil technischer Einfachheit. Wichtig ist dabei, daß die Restwelligkeit der Gesamtspannung den Entladungsverlauf nicht stört, solange die überlagerte Komponente für sich alleine nicht die Zündspannung  $U_z$  überschreitet. Eine erneute und hier unerwünschte Zündung einer Barrierenentladung wird nämlich nur stattfinden, wenn nach Verlöschen der vorhergehenden Entladung die Spannung höher wird, als die (von der Nulllinie an gerechnete) Zündspannung. Nach diesem Prinzip sind auch die Überlagerungen höherer ungeradzahlig-er Harmonischer (3, 5, 7, 9, Oberwelle) möglich, wenn- gleich die Unterdrückung der unerwünschten Rückzündun- gen zunehmend schwieriger wird.

Die Fig. 6, 6a, 6b zeigen einen Weg, um nach dem gleichen Prinzip doch zu höheren Frequenzanteilen der Gesamtspannung zu gelangen. Einzelne, in Fig. 6a separat gezeichnete, bipolare Pulse BA und AB in  $u_2(t)$  werden jeweils zum Zeitpunkt des Nulldurchganges der Grundschiwingung zugeschaltet. Es spielt dabei kaum eine Rolle, ob in Fig. 6b der hochfrequente Bipolar-Puls A'/B' Überschwinger zeigt, so- lange die Amplitude des ersten Pulses A' für sich alleine be- trachtet nicht die Zündspannung  $U_z$  übersteigt.

Aus dem Vergleich zwischen den Fig. 1 und 2 ist ersicht- lich gewesen, daß die Zeitverzögerung von dem Nullbereich der ersten Wechselspannung bis zum Auftreten der steilen Vorderflanke des Kurzzeit-Pulses A veränderbar ist. Die Veränderung des Zündwinkels  $\alpha$  wird dazu ausgenutzt, das während des Kurzzeit-Pulses zündende Plasma auch bei längerem Betrieb stabil zu halten und mit konstanter Leistung zu versorgen, insbesondere es in seiner Leistungsabgabe zu regeln und auf chemische Prozesse, die im Plasma stattfinden, einzustellen. Ein bislang nicht in der Gasentladungs- strecke G, die in den Fig. 7a, 7b gezeigt ist, gezündetes Plasma führt dazu, daß eine Zündung nur dann auftritt, wenn der Kurzzeit-Puls A nahe am Maximum der Wechselspan- nung  $u_1(t)$  auftritt, um die Zündspannung  $U_z$ , die in diesem Falle sehr hoch ist, zu überschreiten. Ein bereits mehrfach in mehreren Halbwellen der Wechselspannung gezündetes Plasma in der Gasentladungsstrecke senkt seine Zündspan- nung auf Werte, die aus Fig. 2 mit  $U_{z2}$  symbolisiert sind. Das Sinken der Zündspannung führt dazu, daß schon die erste Wechselspannung  $u_1(t)$  zum Zünden des Plasmas führen könnte, wodurch andere Bedingungen im Plasma eintreten und größere Verluste entstehen, als wenn die Zündung durch den mit steiler Vorderflanke versehenen Kurzzeit-Puls A eingeleitet wird. Diese steile Vorderflanke hatte gemäß der zuvor beschriebenen Erläuterung einen stark plasmaauslö- sendenden und vergleichmäßigenden Charakter und wenn diese Vorderflanke zeitlich gegenüber der Fig. 1 zurückgenom- men wird, was einem reduzierten Ansteuerwinkel  $\alpha_1$  ent- spricht, so kann die Zündung des Plasmas in der dargestell- ten Halbwelle vorher erfolgen, aber immer noch so, daß beim Durchtritt der steilen Vorderflanke des Kurzzeit-Pulses A durch die für den jeweiligen Betriebsfall festliegende Zündspannung  $U_{z2}$  der Plasmazustand ausgelöst wird, wel- cher bei einer dielektrisch behinderten Entladung eine Viel- zahl von sehr kurz hintereinander erfolgenden Entladungsfi- lamenten ist.

Ein längerer Betrieb führt dazu, daß bei sinkender Zünd- spannung ein gleichbleibender Zustand der Plasmabildung in der Gasentladung erhalten bleiben kann, wenn der Zünd- winkel  $\alpha_1$  reduziert wird und durch als regelungstechnische Anordnung mit einem Regler so gesteuert wird, daß ein be- stimmter Zustand stabil angefahren und stationär aufrechter- halten werden kann, ausgehend von der anfänglichen Zünd- ung des Plasmas mit Zündwinkel  $\alpha$  (alpha) gemäß Fig. 1.

Die zuvor beschriebenen Kurzzeit-Spannungspulse sind in Relation zu der Grundschiwingung, zu der sie hinzugefügt werden, nicht ausschließlich als Impulse zu verstehen, was zum Ausdruck bringt, in welcher zeitlichen Größenordnung die jeweiligen Dauer der Halbwelle des Kurzzeit-Span- nungspulses A und der Halbwelle der Grundschiwingung  $u_1(t)$  liegen kann. Wird eine dielektrisch behinderte Entla- dung (dbE) mit den beschriebenen Verfahren angeregt, so sollten die Anstiegszeiten der Kurzeitpulse (Impulse) die Dauer von einigen Mikrosekunden nicht unterschreiten, ins- besondere sollten sie unter 5  $\mu$ sec liegen, betreffend die je- weilige Halbwelle A bzw. B. Hinsichtlich der unteren Grenze ihrer Dauer sollten sie an die Brenndauer der Entla- dungsfilamente in der dielektrisch behinderten Entladung angepaßt sein, sie sollten dabei so kurz wie schaltungstech- nisch möglich ausgebildet sein.

Bevorzugt sind sie in ihrer Zeitdauer so bemessen, daß die Resonanzfrequenz der Gasentladung etwa der Reso- nanzfrequenz der ungezündeten Gasentladung mit der in- duktiv wirkenden Speisung entspricht, wobei erwähnt war, daß eine noch nicht gezündete Gasentladung und die schon gezündete Gasentladung deutlich unterschiedliche Reso- nanzfrequenzen haben.

Ist die Gasentladung erstmalig gezündet, durch einen Kurzzeit-Spannungspuls (A oder B gemäß Fig. 1 oder Fig. 2), so können weitere Zündungen mit den Kurzzeit-Span- nungspulsen innerhalb des gleichen Wellenzuges der ersten Wechselspannung vorgesehen werden. Speziell können diese zusätzlichen Kurzzeit-Spannungspulse nahe beim Nulldurchgang der ersten Wechselspannung liegen, wie die Fig. 6 veranschaulicht. Sie dienen hier der Ausbildung der Grundschiwingung in Richtung einer weitgehend rechteck- förmigen Gestalt, zumindest aber zur Ausbildung einer stei- leren Spannungsform schon bei niedrigerer momentaner Speisespannung; verfrühte Rückzündungen aufgrund von Oberflächenentladungen können damit sicher vermieden werden.

Die Fig. 7a und 7b veranschaulichen Beispiele eines Schaltgenerators, der die Kurzzeit-Spannungspulse und die erste Wechselspannung  $u_1(t)$  gemeinsam aufbringen kann, wobei die Kurzzeit-Spannungspulse zu der Wechselspan- nung physikalisch addiert wird oder durch eine Parallel- schaltung ihr hinzugefügt wird.

Fig. 7a veranschaulicht eine schaltungstechnische Addi- tion der Spannungen aus zwei induktiv entkoppelten Aus- gangskreisen L1 und L2, wobei der induktive Ausgangs- kreis L1 die Sekundärwicklung eines Koppeltransformators TR1 ist, der von einem – nicht näher dargestellten, da be- kannten – Wechselrichter WR gespeist wird. Der Wechsel- richter selbst hat eine Gleichspannungspufferung DC, die aus einem Wechselspannungsnetz durch Gleichrichten ent- steht und ist in der Lage, den Primärkreis des Transforma- tors TR1 mit einer im Mittel keinen Gleichspannungsanteil enthaltenden Wechselspannungssignal der Frequenz  $f_1$  zu beaufschlagen, so daß die gezeigte Gasentladung G gespeist werden kann. Zusätzlich zu dem Ausgangskreis L1 ist ein zweiter Ausgangskreis L2 vorgesehen, der mit den Kurz- zeit-Spannungspulsen, auch über einen in seiner Betriebs- frequenz  $f_2$  anders gestalteten Wechselrichter WR2 oder in Form einer Funkenstrecke FU gebildeten zweiten Schaltge-

nerator gespeist wird. Die sehr viel höherfrequente, da mit Kurzzeit-Anstiegsflanken F versehene Spannung am Ausgangskreis L2 addiert sich zu der Spannung  $u_1$  des Ausgangskreises L1 und kann die Gasentladungs-Last G zünden.

Neben der Zündung ist auch eine weitere Verwendung der Kurzzeit-Spannungspulse möglich, zur steileren Ausbildung des Nulldurchgangs der ersten Wechselspannung  $u_1(t)$  und zur Veränderung der Leistungseinkopplung in die Gasentladung hinein, wenn mehrere Kurzzeit-Spannungspulse hintereinander eingekoppelt werden oder wenn der Zeitpunkt der Kurzzeit-Entladung gegenüber der ersten Wechselspannung  $u_1$  verändert wird (vgl. hierzu die unterschiedlichen Zeitpunkte  $\alpha$  und  $\alpha_1$  in den Fig. 1 und 2).

Fig. 7b veranschaulicht eine Parallelschaltung mit einem Hilfskondensator C3, der den Kurzzeit-Spannungspuls mit einem sehr viel höheren Frequenzanteil von dem Grundschwingungs-Anteil oder diesbezüglichen Ausgangskreis L1 entkoppelt. Beide Ausgangsspannungen werden hier parallel geschaltet und parallel an die Gasentladung G angelegt, was speziell für die zeitliche Abstimmung sinnvoll ist, bei welcher die Kurzzeit-Spannungsanregung im Bereich des Nullpunktes der Grundschwingungs-Anregung (erste Wechselspannung  $u_1$ ) liegt. Der Schwingkreis C3 und die Parallelschaltung aus beiden Ausgangskreisen L1 und L2 haben eine Resonanzfrequenz, die sehr viel höher liegt, als die Anregungsfrequenz  $f_1$  der ersten Wechselspannung  $u_1$ . Damit ist der parallel geschaltete Einkopplungskreis Kurzzeit-Spannung für die niederfrequente erste Wechselspannung  $u_1$  wie ein offenes System zu betrachten.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Anregung von Gasentladungen (G), bei dem die Gasentladung (G) mit einer ersten Wechselspannung ( $u_1(t)$ ) im Bereich zwischen 500 Hz und 50 kHz, insbesondere noch ohne Zündung der Gasentladung, beaufschlagt wird; wobei der ersten Wechselspannung ( $u_1(t)$ ) – einzelne – Spannungspulse (A, B, A', B') mit deutlich kürzerer Anstiegszeit überlagert werden, um die Gasentladung (G) zu zünden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Wechselspannung in dem Frequenzbereich von 500 Hz bis 5 kHz liegt und sehr nahe an der Resonanzfrequenz des von der kapazitiv wirkenden ungezündeten Gasentladung und der Induktivität eines Endübertragers der Speisung gebildeten Schwingkreises liegt.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Spannungspulse (A, B) Anstiegszeiten deutlich unterhalb der Anstiegszeit der ersten Wechselspannung aufweisen, insbesondere unter 5  $\mu$ sec (microsec).
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Spannungspulse (A, B) zum Zeitpunkt der Zündung der Gasentladung angelegt werden, insbesondere zeitlich deutlich beabstandet sind, bevorzugt pro Halbwelle nur wenige Spannungspulse (A, B, A', B'), insbesondere nur ein einzelner oder ein einzelner Doppel-Spannungspuls überlagert werden.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Amplitude der ersten Wechselspannung ( $u_1(t)$ ) ohne Überlagerung der Spannungspulse (A, B) nicht für eine Zündung der Gasentladung ausreicht.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Zeitdauer der Span-

nungspulse (A, B) so bemessen wird, daß die Resonanzfrequenz der gezündeten Gasentladung etwa der Resonanzfrequenz der ungezündeten Gasentladung mit induktiv wirkender Speisung entspricht.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Spannungspuls zu einem Zeitpunkt ( $\alpha$ ) nahe am Spannungsmaximum der ersten Wechselspannung ( $u_1$ ) überlagert wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß Spannungspulse in der Anstiegsflanke, insbesondere nahe am Nulldurchgang der ersten Wechselspannung ( $u_1(t)$ ) überlagert werden.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß beim erstmaligen Zünden der Gasentladung (G) ein Spannungspuls (A) nahe am Maximum der ersten Wechselspannung ( $u_1(t)$ ), bei Zündungen in folgenden Halbwellen der ersten Wechselspannung jedoch näher zu ihrem Nulldurchgang überlagert werden.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Spannungspulse (A, B)

- (a) in jeder Halbwelle der Wechselspannung mit abwechselnder Polarität überlagert werden; oder
- (b) stets die gleiche Polarität aufweisen und nur in einer der Halbwellen der Wechselspannung zugeschaltet werden.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Zeitpunkt, zu dem der Spannungspuls der ersten Wechselspannung ( $u_1$ ) überlagert wird, von einem größeren Wert zu einem kleineren Wert bei länger andauerndem Betrieb der Gasentladungsstrecke zurückgenommen wird, um der Senkung der Zündspannung ( $U_z$ ,  $U_{z1}$ ,  $U_{z2}$ ) der länger betriebenen Gasentladungsstrecke (G) nachzufolgen, insbesondere über einen Steuer- oder Regelkreis, der zur Plasmabildung oder -aufrechterhaltung den Zeitpunkt der steilen Flanke (F) des Spannungspulses (A) so nach vorne verlagert, daß die Gasentladungsstrecke (G) von dem Spannungspuls gezündet wird, kurz bevor sie von der ersten Wechselspannung gezündet worden wäre.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß aus den Spannungspulsen Pulsgruppen oder Pulsmuster variablen Abstands gebildet werden, um eine Veränderung der der Gasentladung (G) zugeführten Leistung zu erreichen.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Spannungspulse (A', B') bipolar sind, wobei sie aus jeweils zeitlich aufeinander folgenden positivem und negativem Anteil bestehen.

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die bipolaren Spannungspulse jeweils zum Zeitpunkt des Nulldurchganges der Wechselspannung angelegt werden, um einen steileren Nulldurchgang der resultierenden Gesamtspannung an der Gasentladung zu erhalten.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, daß die bipolaren Spannungspulse zu einem Wellenzug verknüpft werden, der jeweils zum Zeitpunkt eines Nulldurchgangs der Wechselspannung einen resultierenden steileren Nulldurchgang der Gesamtspannung erzeugt, um im Zeitbereich Leistung zuzuführen, in dem die Gasentladung (G) im wesentlichen Wirkleistung aufnimmt (Fig. 4, 5).

16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Wiederholfrequenz des Wellenzuges ein ungeradzahliges Vielfaches der Frequenz der ersten Wechselspannung darstellt.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Wechselspannung

durch Überlagerung einer höherfrequenten zweiten Wechselspannung ( $u_2(t)$ ) so geformt wird, daß die resultierende Gesamtspannung ihren Maximalwert für mindestens ein Viertel der Periodendauer annähernd beibehält.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Restwelligkeit der resultierenden Gesamtspannung im Zeitabschnitt nach ihrem Maximalwert weniger als die Zündspannung der Gasentladung beträgt.

19. Verfahren, insbesondere in Verbindung mit einem der vorigen Verfahren, bei dem

(a) die Gasentladung mit einem steil ansteigenden (F) Spannungspuls (A, B) gezündet wird, der einer ersten Wechselspannung ( $u_1$ ) zu einem von einem Steuerkreis vorgegebenen Zeitpunkt ( $\alpha$ ,  $\alpha_1$ ) zwischen  $0^\circ$  und  $90^\circ$  der ersten Wechselspannung überlagert wird;

(b) der Zeitpunkt der Zündung (Zündwinkel,  $\alpha$ ,  $\alpha_1$ ) vom Steuerkreis während des Betriebes der Gasentladung verändert wird, um die Position der steilen Anstiegsflanke (F) dem sich ändernden Zustand der Gasentladungsstrecke (G) anzupassen.

20. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorigen Verfahrensansprüche, bei der

(a) ein Schaltgenerator vorgesehen ist, mit einem mit einer ersten Frequenz ( $f_1$ ) arbeitenden Wechselrichter und einem Transformator (TR1), zur Erzeugung der ersten Wechselspannung ( $u_1(t)$ );

(b) ein weiterer Schaltgenerator (WR2, FU) vorgesehen ist, um die Spannungspulse (A, B, A', A'') wesentlich kürzerer Anstiegszeit zu erzeugen und zur ersten Wechselspannung ( $u_1$ ) hinzuzufügen.

21. Vorrichtung nach einem obiger Vorrichtungsansprüche, wobei der zweite Schaltgenerator im wesentlichen funktionsgleich mit dem ersten Schaltgenerator ist, jedoch so eingestellt ist, daß er mit einem wesentlich höheren Frequenzgang ( $f_2$ ) arbeitsfähig ist, um die Spannungspulse (A, B) wesentlich kürzerer Anstiegszeit zu erzeugen.

22. Vorrichtung nach Anspruch 21 oder 20, wobei der zweite Schaltgenerator eine Funkenstrecke (FU) ist, zur Erzeugung der Spannungspulse (A, B) wesentlich kürzerer Anstiegszeit.

23. Vorrichtung nach einem der vorigen Vorrichtungsansprüche, bei welcher die Ausgangskreise (L1, L2) der beiden Schaltgeneratoren in Reihe geschaltet sind.

24. Vorrichtung nach einem der Vorrichtungsansprüche 20 bis 22, bei der die Ausgangskreise (L1, L2) der beiden Spannungsgeneratoren über zumindest einen Hilfskondensator (C3) parallel geschaltet sind.

25. Vorrichtung nach Anspruch 19, bei welcher der Schaltgenerator auch eine Gleichspannungspufferung (DC) aufweist, die den Wechselrichter speist, der eine Primärseite des induktiv wirkenden Koppeltransformators (TR1) mit einer bipolar geschalteten Gleichspannung eines Mittelwerts von etwa Null speist.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

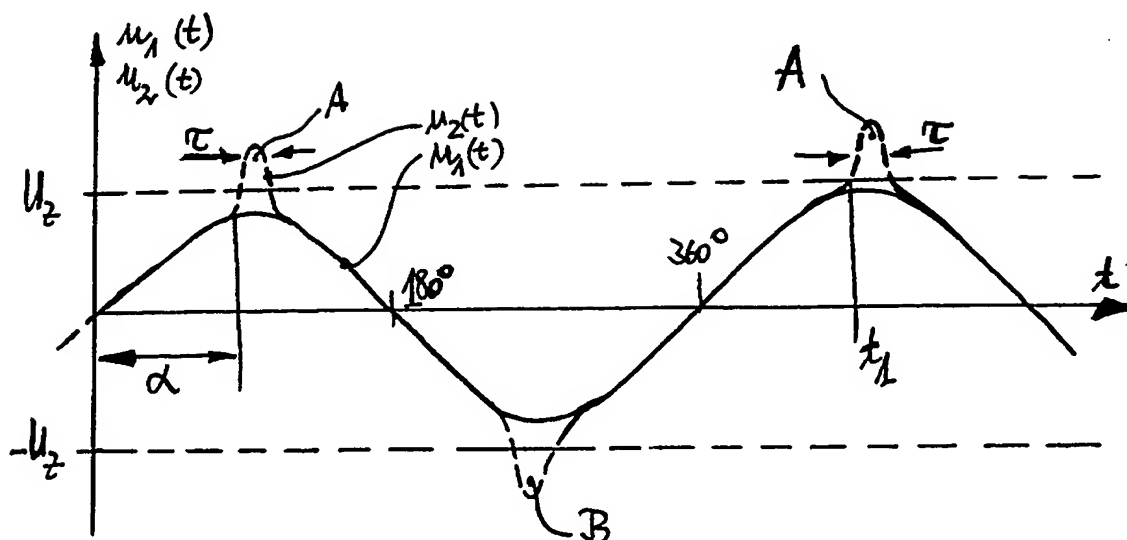


Fig. 1

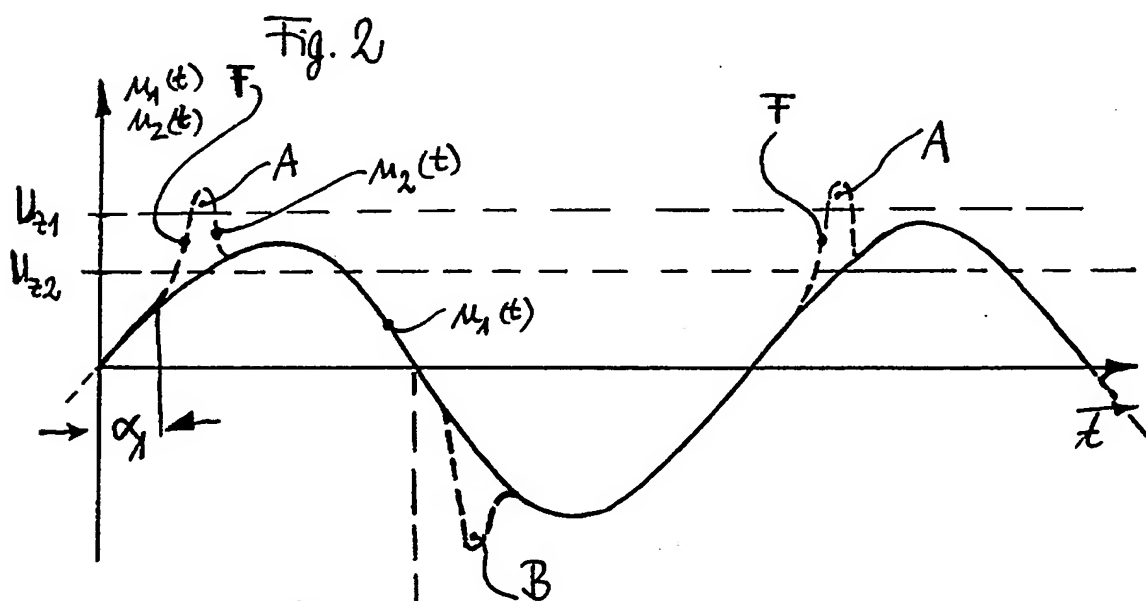


Fig. 2

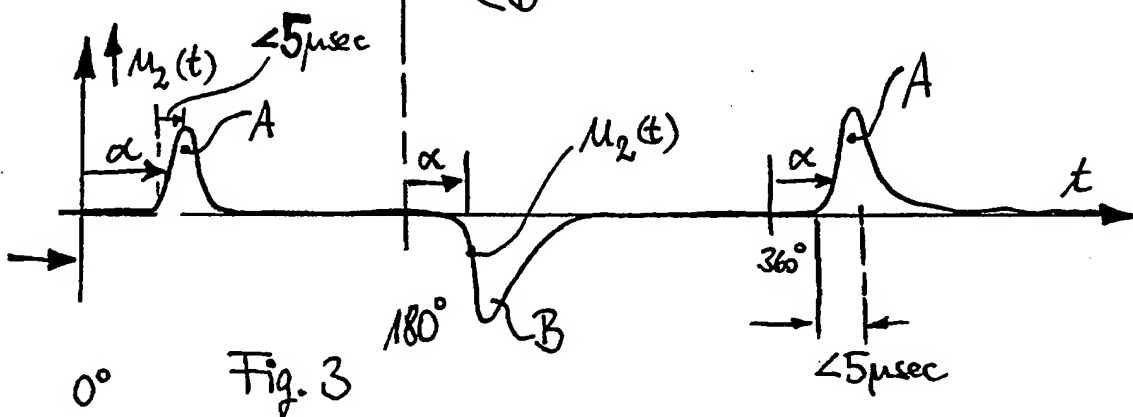
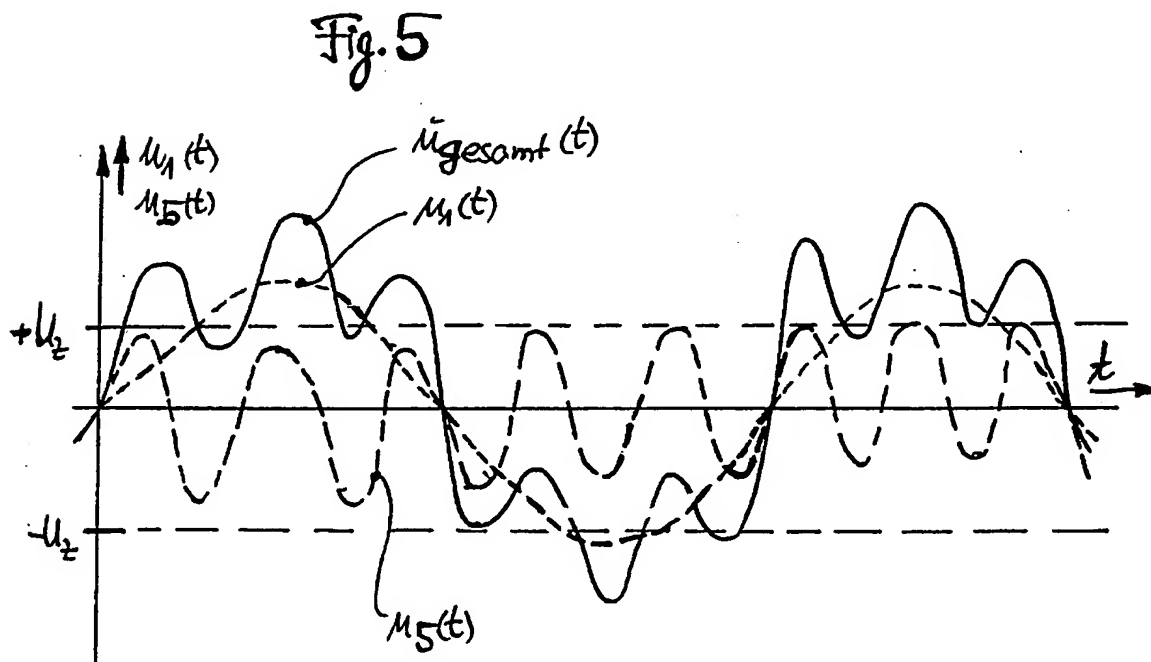
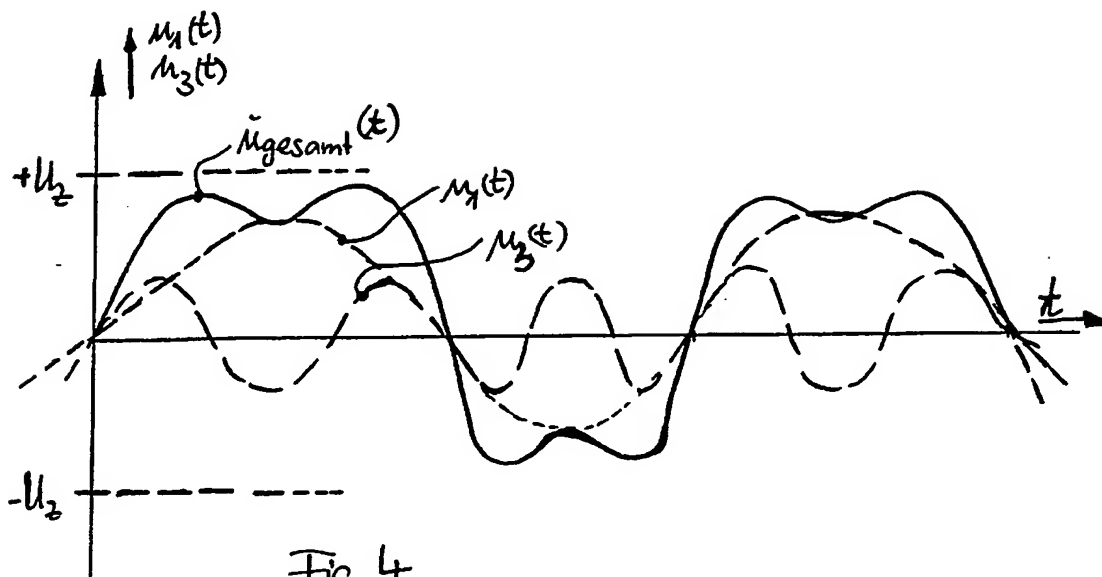


Fig. 3





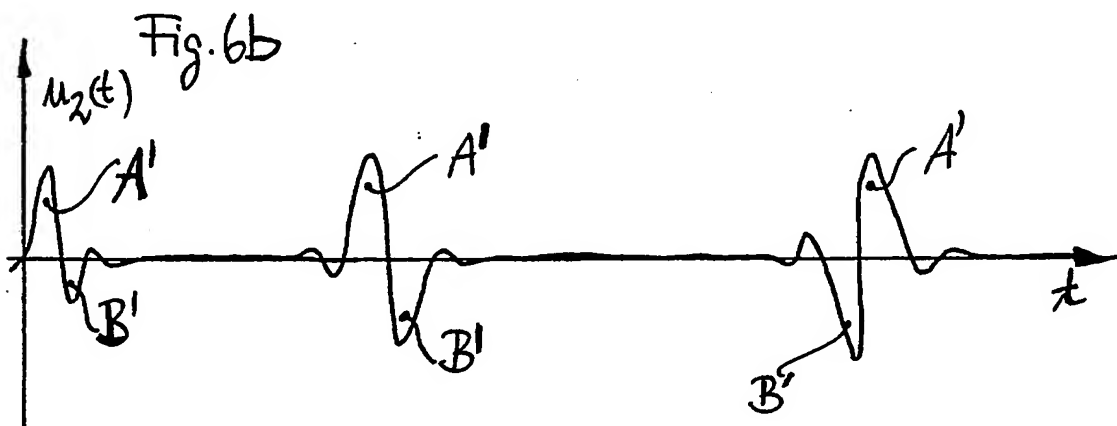
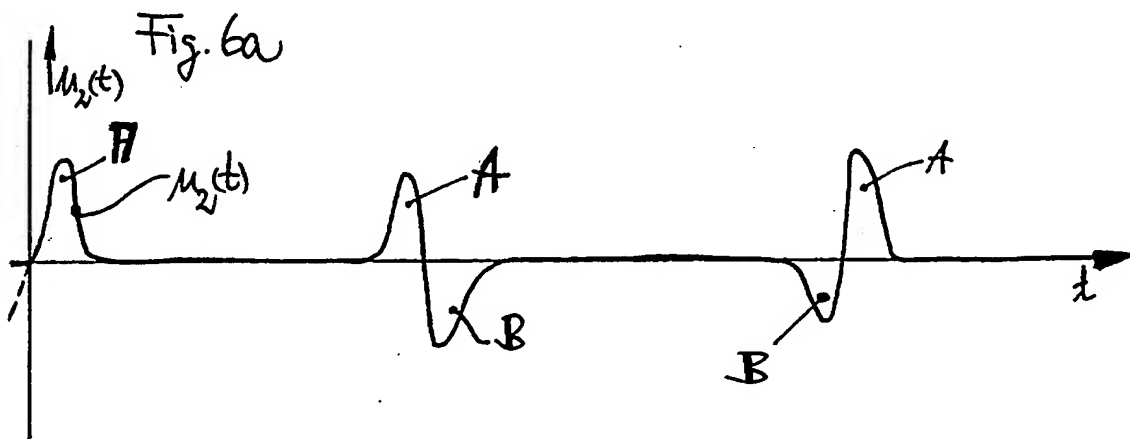
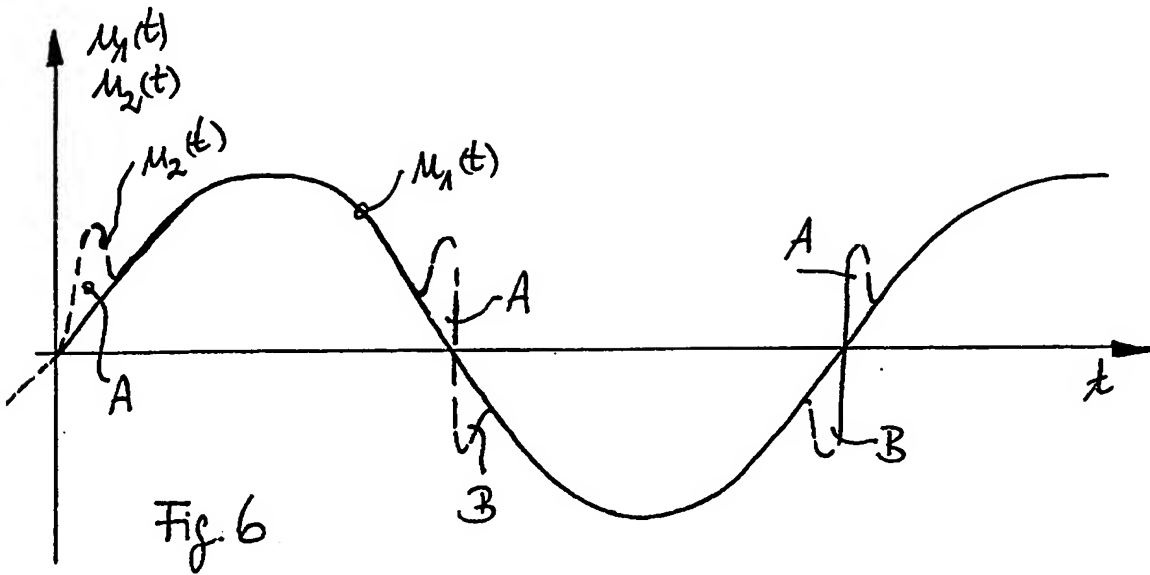


Fig. 7a

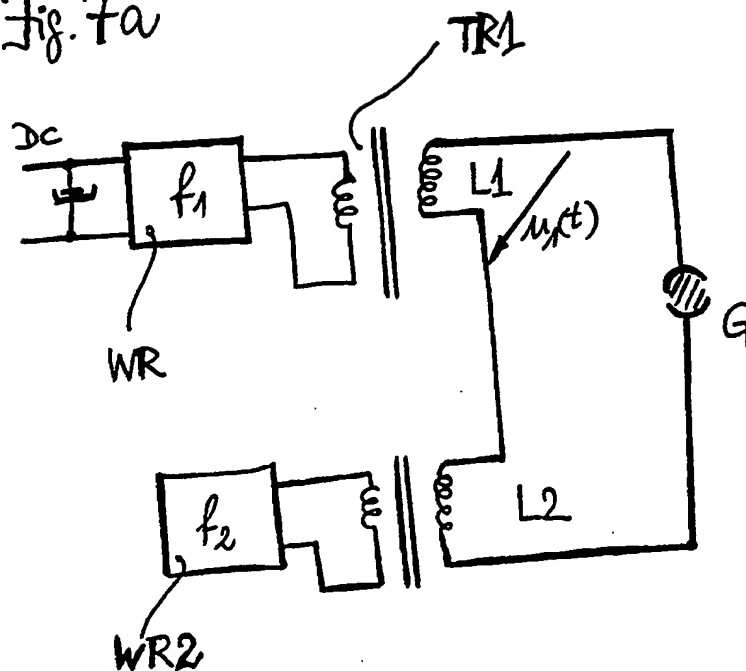


Fig. 7b

